Archive of SID

اقتصاد و تجارت نوین، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
فصل‌نامهٔ علمی ـ پژوهشی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۱۳۹۷، ۵۵-۸۴

پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از نقشه‌های خودسازمان‌ده بازگشتی

ندا بیات*

چکیده

تغییرات نرخ ارز در کشورهای درحال‌توسعه، که اغلب صادرکنندهٔ مواد خام‌اند، بیش‌تر از دیگر کشورها اهمیت دارد. ایران نیز نه‌تنها به‌علت وابستگی شدید به درآمدهای ارزی حاصل از صادرات نفت از این امر مستثنی نیست، بلکه به‌علت اعمال جدی‌تر تحریم‌های اقتصادی در سال‌های اخیر و تأثیرپذیری شدید نرخ ارز از این امر این اهمیت دوچندان شده است. بنابراین، در این مقاله سعی شده است با درنظرگرفتن عوامل مؤثر در نرخ ارز و هم‌چنین، درنظرگرفتن اثرات تحریم با استفاده از نقشه‌های خودسازمان‌ده بازگشتی[1] مدلی برای پیش‌بینی نرخ ارز ارائه شود. برای این کار علاوه‌بر عوامل مؤثر در آن به‌طور هم‌زمان از سری زمانی مربوط به نرخ ارز نیز برای پیش‌بینی مدل استفاده شده است و درمجموع، دوازده متغیر انتخابی از متغیرهای مؤثر کلان در نرخ ارز، و اثر تحریم و شاخص قیمت بازارهای رقیب، یعنی طلا، بورس، و مسکن در مدل وارد شدند. نتایج تحقیق نشان داد که این مدل ابزار مناسبی برای پیش‌بینی نرخ ارز است.

کلیدواژه‌ها: نرخ ارز، نقشه‌های خودسازمان‌ده، نقشه‌های خودسازمان‌ده بازگشتی، پیش‌بینی، اثر تحریم.

طبقه‌بندی JEL: F31، Y91، F51.

۱. مقدمه

نرخ ارز از کلیدی‌ترین متغیرهای اقتصادی است و تغییرات آن در بخش‌های مختلف اقتصاد در هر کشور تأثیر دارد. اهمیت این متغیر تا اندازه‌ای است که بیش‌تر جوانب اقتصاد از سیاست‌های تجاری، حجم صادرات و واردات، جریان ورود سرمایه، وضعیت تراز

* استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، nedabbayat@gmail.com
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۹

www.SID.ir

Archive of SID

پرداخت‌ها، و قدرت رقابتی صادرات کشور تا رشد اقتصادی و در نتیجهٔ آن بی‌کاری و اشتغال را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (خواجه محمدلو و خداویسی ۱۳۹۶: ۲۰۰). حساسیت سیستم اقتصادی کشورها به ساختار اقتصادی آن‌ها بستگی دارد (ابراهیمی و پدرام ۱۳۹۳: ۱۴۲). در کشورهای درحال‌توسعه اغلب به علت اتکا بر درآمدهای حاصل از صادرات مواد اولیه تغییرات آن به‌طور مستقیم در درآمدهای ارزی اثرگذار است و درصورت کاهش می‌تواند مشکلات عمده‌ای را ایجاد کند (کازرونی و دیگران ۱۳۹۴: ۹۶). ایران نیز، به‌منزلهٔ یک کشور تقریباً تک‌محصولی صادرکنندهٔ نفت، از این قاعده مستثنی نیست و نقش بسیار مهمی را در معادلات اقتصادی ایفا می‌کند (ابراهیمی و پدرام ۱۳۹۳: ۱۴۲).

اقتصاد ایران به‌واسطهٔ مناسبات سیاسی‌ای که دارد بسیار پرتنش است و قطعیت ندارد. همین امر پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی را در ایران با مشکلات عدیده‌ای مواجه می‌کند، چراکه عوامل متعدد بیرونی‌ای وجود دارند که خارج از کنترل و در بسیاری از مواقع پیش‌بینی‌ناپذیرند، درحالی‌که تأثیر بسیار زیادی در وضعیت اقتصادی و متغیرهای آن دارند، بنابراین پیش‌بینی در این وضعیت بسیار پیچیده و در برخی موارد تاحدزیادی نادقیق خواهد بود. باوجوداین، محققان همواره برای یافتن روش‌های جدید برای پیش‌بینی نرخ ارز تلاش می‌کنند، چراکه ترسیم مسیر آتی متغیرها زمینهٔ فعالیت را برای فعالان اقتصادی و سرمایه‌گذاران بیش‌تر فراهم می‌کند و به سیاست‌گذاران برای اتخاذ سیاست‌های کارآتر یاری می‌رساند. در سال‌های اخیر اثر تحریم‌های بین‌المللی بر اقتصاد ایران انکارناپذیر است و همواره به ایجاد نوسانات شدید در عرصهٔ تجارت بین‌الملل و روند متغیرهای اقتصادی، ازجمله نرخ ارز منجر شده است. این نوسانات در مهر ۱۳۹۱ یکی از حساس‌ترین مقاطع خود را تجربه کرد و باعث بروز بحران ارزی شد. این پدیده در بهار ۱۳۹۷ با خروج آمریکا از برجام دوباره با شدت بیش‌تری تکرار شد. نادیده‌گرفتن اثر این تحریم‌ها در مطالعات علمی نتایج تحقیق را تاحدزیادی دور از واقعیت اقتصاد ایران می‌کند. بنابراین، لحاظ‌کردن آثار تحریم‌ها در تحقیقات اقتصادی به کارآیی نتایج کمک خواهد کرد. به‌علت آن‌که سالیان متمادی نظام نرخ ارز در ایران به‌صورت ثابت یا شناور مدیریت شده بود، تغییرات نرخ ارز رسمی در مقایسه با نرخ ارز غیررسمی (آزاد) کم‌تر بود. این درحالی است که در سال‌های اخیر با شدت‌گرفتن شوک‌های واردشده بر اقتصاد این فاصله بیش‌تر نیز شده است. نرخ ارز غیررسمی در مقایسه با نرخ ارز رسمی واکنش بیش‌تر و محسوس‌تری درمقابل تغییرات متغیرهای مؤثر در نرخ ارز دارد و بررسی میزان اثرگذاری شوک‌های واردشده به بازار ارز ازطریق این نوع نرخ نتایج واقعی‌تری دارد. علاوه‌براین، باتوجه‌به رویکرد بلندمدت بانک

www.SID.ir

Archive of SID

مرکزی درمورد تک‌نرخی‌کردن نرخ ارز و نزدیک‌شدن نرخ ارز رسمی به غیررسمی سبب شد نرخ ارز غیررسمی در این تحقیق به‌منزلهٔ نرخ موردنظر برای بررسی رفتار ارز انتخاب شود. درهمین‌باره، در این تحقیق سعی شده است با به‌کارگیری نقشه‌های خودسازمان‌ده بازگشتی (RSOM) نرخ ارز غیررسمی پیش‌بینی شود. هم‌چنین، برای درنظرگرفتن آثار تحریم تلاش شده است متغیرهای اقتصادی‌ای که براثر تحریم دچار تغییرات شدید می‌شوند، در پیش‌بینی به‌کار گرفته شوند. هم‌چنین، برای افزایش دقت پیش‌بینی به‌طور هم‌زمان از جملات پیشین سری زمانی مربوط به تغییرات نرخ ارز غیررسمی و متغیرهای مؤثر در آن استفاده شده است. چهارچوب مقاله به این صورت است: در بخش بعدی رویکردهای موجود درمورد پیش‌بینی نرخ ارز بررسی شده است و متغیرهای مؤثر در نرخ ارز به‌طور اجمالی معرفی شده‌اند. در بخش سوم متغیرها و داده‌های مورداستفاده در تحقیق شرح داده شده‌اند و در بخش چهارم خلاصه‌ای از تحولات نرخ ارز در ایران ارائه شده است. در بخش پنجم مطالعات پیشین در دو بخش پیش‌بینی نرخ ارز و کاربرد نقشه‌های خودسازمان‌ده در مباحث اقتصادی مرور شده‌اند. در بخش ششم روش کار نقشه‌های خودسازمان‌ده تشریح شده است و سپس، در بخش هفتم نتایج شبیه‌سازی گزارش شده است. درنهایت، در بخش آخر نتیجه‌گیری و جمع‌بندی آمده است.

۲. مبانی نظری

نرخ ارز به‌منزلهٔ معیار ارزش پول یک کشور دربرابر دیگر کشورها تاحدی منعکس‌کنندهٔ وضعیت اقتصادی آن کشور نیز هست. هم‌چنین، نرخ ارز علاوه‌براین‌که از تغییرات شاخص‌های کلیدی اقتصاد تأثیر می‌پذیرد، به‌طور متقابل می‌تواند در عملکرد اقتصادها نیز تأثیر بگذارد (حلافی و دیگران ۱۳۸۳). توانایی پیش‌بینی نرخ‌های ارز ریسک‌های ناشی از نوسانات آن را کاهش می‌دهد. باوجوداین‌که تاکنون مدل‌ها و عوامل متعددی در ادبیات نظری دراین‌باره بیان شده است، پیش‌بینی‌های انجام‌شده بدون خطا نبوده‌اند و همواره تلاش‌ها بر این بوده است که این پیش‌بینی‌ها بهتر شوند. برای بهترشدنْ شناسایی عوامل مؤثر در نرخ ارز در درجهٔ اول اهمیت قرار دارد. در این قسمت، ابتدا، رویکردهای مربوط به پیش‌بینی نرخ ارز را بررسی می‌کنیم و سپس، درمورد متغیرهایی که تاکنون در مبانی نظری به‌منزلهٔ متغیرهای مؤثر در نرخ ارز معرفی شده‌اند، بحث می‌شود.

برای پیش‌بینی نرخ ارز دو رویکرد اصلی وجود دارد: رویکرد بنیادی و رویکرد سری زمانی یا تک‌متغیره (تکنیکال). در رویکرد بنیادی سعی بر برآورد نرخ ارز براساس

www.SID.ir

Archive of SID

متغیرهای اقتصادی تأثیرگذار است، درحالی‌که در رویکرد تکنیکال رفتارهای نرخ ارز براساس رفتار گذشتهٔ آن تحلیل می‌شود. هریک از این رویکردها برای خود مزیت و نقاط ضعفی دارند که موفقیت آن‌ها را در پیش‌بینی نرخ ارز با مشکل مواجه می‌کنند. توجه‌نکردن به نظریات اقتصادی در مدل‌سازی سری‌های زمانی و نادیده‌گرفتن برخی از منابع تأثیرگذار در رویکرد ساختاری تصریح درست مدل را به‌چالش می‌کشد (Brandl and Pickl 2009). بنابراین در بسیاری از مطالعات به تلفیق این دو رویکرد توصیه شده است (Smith and Wallis 2009).

رویکردهای ساختاری درمورد نرخ ارز به سه دستهٔ کلی تقسیم می‌شوند؛ دستهٔ اول بر حساب جاری تمرکز دارند. نظریه‌های برابری قدرت خرید، روش کشش‌ها، و روش جذب از این نوع‌اند. روش‌های جریان سرمایه و حساب سرمایهٔ تراز پرداخت‌ها را می‌توان در دستهٔ دوم قرار داد که مدل‌هایی مانند ماندل ــ فلمینگ و مدل‌های پولی با قیمت‌های انعطاف‌پذیر و چسبنده را شامل می‌شود. دستهٔ آخر مربوط به بازار دارایی است که مدل سبد تراز دارایی نمونه‌ای از این مدل‌ها به‌شمار می‌آید.

۱.۲ رویکردهای بنیادی

۱.۱.۲ مدل‌های برابری قدرت خرید

این نظریه، که متداول‌ترین و مشهورترین نظریهٔ تعیین نرخ ارز تعادلی است، روشی بسیار ساده برای تعیین نرخ ارز در وضعیت عدم تعادل تراز پرداخت‌های یک کشور است. طبق این نظریه، قیمت کالا در یک کشور باید با قیمت همان کالا در کشورهای دیگر برابر باشد. به‌عبارتی، براساس برابری قدرت خرید قیمت کالاها در کشورها باید یک‌سان باشد. این نظریه برای تعیین نرخ مبادلهٔ ارز در بلندمدت به‌کار می‌رود و به دو شکل برابری قدرت خرید مطلق و برابری قدرت خرید نسبی بیان می‌شود. فرم تبعی این دو مدل به‌ترتیب به دو فرم رابطهٔ (۱) و (۲) بیان می‌شوند (Abuaf and Jorion 1990):

$$ER_t = \beta_0 + \beta_1 \left(P_t / P_t^*\right) + U_t, \qquad (۱)$$

$$\Delta ER_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta \left(P_t / P_t^*\right) + U_t, \qquad (۲)$$

که ER_t نرخ ارز، P_t سطح قیمت کشور داخلی، P^*_t سطح قیمت کشور خارجی، و U_t نشان‌دهندهٔ جملهٔ اخلال است.

www.SID.ir

Archive of SID

۲.۱.۲ مدل ماندل ــ فلمینگ

این مدل با تأکید بر اهمیت حساب سرمایهٔ تراز پرداخت‌ها بیان می‌کند که مازاد تقاضای خالص ارز برابر مازاد تراز پرداخت‌هاست، که در وضعیت تعادل و نرخ ارز شناور برابر صفر خواهد بود. هم تقاضا و هم عرضهٔ ارز را می‌توان برابر تقاضای افراد داخلی و خارجی برای خرید کالاها و خدمات خارجی دانست که برحسب واحد ارز در یک زمان قابل‌اندازه‌گیری هستند. مطالعات انجام‌شده در این مدل نشان می‌دهند که اثرگذارترین عوامل در نرخ ارز تولید ناخالص داخلی عرضهٔ پول، مخارج دولت، نرخ بهرهٔ حقیقی، و درآمدهای مالیاتی است (Eichenbaum and Evans 1995). مدل ماندل ـــ فلمینگ به این صورت تصریح می‌شود:

$$ER_t = \beta_0 + \beta_1 GDP_t + \beta_2 G_t + \beta_3 i_t + \beta_4 TAX_t + \beta_5 M_t + U_t, \qquad (۳)$$

ER_t نشان‌دهندهٔ نرخ ارز، GDP_t تولید ناخالص داخلی کشور، G_t مخارج دولت، i_t نرخ بهرهٔ داخلی، TAX_t درآمد مالیاتی داخلی، M_t عرضهٔ پول داخلی، و U_t نشان‌دهندهٔ جملهٔ اخلال است.

۳.۱.۲ مدل پولی

این مدل بر نظام نرخ ارز انعطاف‌پذیرتر تأکید دارد و بیان می‌کند که اگر نظام نرخ ارز منعطف باشد، عدم تعادل در تراز پرداخت‌ها با تغییرات خودکار در نرخ ارز به‌سرعت تعدیل می‌شود و همین امر موجب تسلط بانک مرکزی بر بازار پول و عرضهٔ آن می‌شود. برطبق این مدل نرخ ارز توسط نرخ رشد عرضهٔ پول و درآمد حقیقی آن کشور در مقایسه با دیگر کشورها تعیین می‌شود. عوامل دیگری که در این مدل در نرخ ارز تأثیر می‌گذارند سطح عمومی قیمت‌ها و نرخ بهره و سیاست‌های بانک مرکزی در طرف عرضهٔ پول است. مدل‌های پولی نرخ ارز در دو دستهٔ مدل پولی با قیمت‌های انعطاف‌پذیر و قیمت‌های چسبنده بیان می‌شود.

$$ER_t = \beta_0 + \beta_1 (M_t - M_t^*) + \beta_2 (GDP_t - GDP_t^*) + \beta_3 (i_t - i_t^*) + U_t. \qquad (۴)$$

ER_t نشان‌دهندهٔ نرخ ارز، GDP_t تولید ناخالص داخلی کشور، GDP_t^* تولید ناخالص داخلی کشور خارجی، i_t نرخ بهرهٔ داخلی، i_t^* نرخ بهرهٔ خارجی، M_t عرضهٔ پول داخلی، M^*_t عرضهٔ پول خارجی، و U_t نشان‌دهندهٔ جملهٔ اخلال است.

www.SID.ir

Archive of SID

۴.۱.۲ مدل تراز سبد دارایی

بیان این مدل برخی از نواقص مدل پولی را، ازجمله نادیده‌گرفتن دیگر دارایی‌ها به‌غیراز پول، رفع کرد. در این روش تغییرات حساب جاری در تغییرات میزان خالص موجودی دارایی‌های خارجی منعکس می‌شود و در سطح کل دارایی‌ها تأثیر می‌گذارد. این الگو را می‌توان الگوی پویایی از تعدیل نرخ ارز به‌حساب آورد که شامل بازارهای سرمایه، حساب‌های جاری، سطح قیمت‌ها، و نرخ انباشت دارایی‌ها می‌شود. تغییرات تقاضای ارز در این روش توسط تغییرات تقاضای دارایی‌های مالی توجیه می‌شود و نرخ ارز نتیجهٔ تعادل دارایی‌هاست. در این رویکرد، برخلاف روش‌های پولی، نقش تجارت بین‌الملل و مبادلات بازرگانی در نظر گرفته می‌شود.

$$ER_t = \beta_0 + \beta_1 M_t + \beta_2 M_t^* + \beta_3 NFA_t + \beta_3 NFA_t^* + U_t \qquad (۵)$$

ER_t نشان‌دهندهٔ نرخ ارز، NFA_t خالص موجودی دارایی‌های کشور داخلی، NFA^*_t خالص موجودی دارایی‌های کشور خارجی، M_t عرضهٔ پول داخلی، M^*_t عرضهٔ پول خارجی، و U نشان‌دهندهٔ جملهٔ اخلال است.

۲.۲ روش‌های تکنیکال

این روش‌ها برخلاف روش‌های بنیادی به‌دنبال روابط علت و معلولی میان متغیرهای کلان اقتصادی و نرخ ارز نیستند و بر رفتار گذشتهٔ متغیرها تمرکز دارند. علت استفاده از این روش‌ها ناکامی روش‌های بنیادی در تخمین رفتار متغیرهای اقتصادی ازجمله نرخ ارز است. در این روش‌ها این‌گونه استدلال می‌شود که نرخ ارز متغیری تصادفی نیست و از الگوهای تکرارشونده پیروی می‌کند. براساس این رویکرد، خودسری نشان‌دهندهٔ هم‌زمان اطلاعات طرف عرضه و تقاضاست و هم متغیرهای بنیادی و غیربنیادی را، ازجمله عوامل روانی و انتظارات و مانند آن‌ها که اغلب کمّی نیستند، شامل می‌شود (فتاحی و دیگران ۱۳۹۱).

۳. مروری اجمالی بر متغیرهای مؤثر در نرخ ارز و داده‌های مورداستفاده

رشد بهره‌وری: هر فرایندی که موجب رشد بهره‌وری بخش قابل‌مبادله دربرابر بخش غیرقابل‌مبادله در یک کشور در مقایسه با دیگر کشورهای جهان شود، می‌تواند باعث بالارفتن نرخ ارز واقعی آن در بلندمدت گردد (اصغرپور و دیگران ۱۳۹۲).

www.SID.ir

Archive of SID

ـ قیمت حقیقی نفت: اثر قیمت نفت را می‌توان از کانال رابطهٔ مبادلهٔ تجاری و نـرخ ارز بررسی کرد. با افزایش قیمت نفت نرخ ارز حقیقی در کشورهای واردکنندهٔ نفـت تضـعیف می‌شود و در کشورهای صادرکننده تقویت می‌شود (Amano and Norden 1998).

ـ سیاست‌های تجاری: مالیات‌هـای تجـاری یـا تعرفـه‌هـای واردات قیمـت واردات را افزایش می‌دهد و نرخ ارز برای واردات افزایش پیدا می‌کند. این سیاست در بخش صادرات به‌طور مستقیم تأثیر ندارد، اما اگر قیمت واردات کالاهای غیرقابل‌مبادلـه بـه‌علـت افـزایش تقاضا افزایش یابد، نرخ ارز برای صادرات کاهش پیدا می‌کند.

ـ سیاست‌های نرخ ارز: در بسیاری از کشورها به‌مثابهٔ ابزار سیاست‌گذاری مورداسـتفادهٔ دولت‌ها قرار می‌گیرد و از نرخ ارز رسمی برای موازنهٔ تراز پرداخت‌ها استفاده می‌کننـد تـا بتوانند هزینه‌های دولت را پوشـش دهنـد. تغییـرات نـرخ ارز رسـمی در نـرخ ارز واقعـی تأثیر می‌گذارد.

ـ سیاست‌های پولی و مالی: سیاست‌های پولی شامل استفاده از ذخایر ارزی، اسـتقراض خارجی و صندوق بین‌المللی پول، تورم، افزایش هزینه‌های معاملاتی، ایجاد انحـراف‌هـای قیمتی متعدد ازجمله قیمت انرژی، نرخ ارز رسمی، دست‌مزدها، تشدید کنتـرل‌هـای ارزی، تجـاری، و سـرمایه‌ای اسـت و سـبب تغییـر در ترکیـب عرضـهٔ کالاهـای قابـل‌مبادلـه و غیرقابل‌مبادله می‌شود و درنتیجه، نرخ ارز واقعی را تغییر می‌دهد.

ـ سیاست‌های مالی: سیاست‌های مالی نیز شامل سیاست‌های ضـدتورمی (انقباضـی) و استفاده از سیاست‌های حمایتی از عرضه‌کنندگان کالاسـت و بـه تغییـر در نـرخ‌هـا منجـر می‌شود (مهرآرا ۱۳۸۴).

ـ اندازهٔ دولت: اندازهٔ دولت ازطریق میزان مالیات‌هـا و تخصـیص مخـارج دولتـی بـین کالاهای مبادله‌شده و غیرقابل‌مبادله در نرخ ارز تأثیرگذار است (Edwards 1998).

ـ تغییرات قیمت‌های داخل در مقایسه با خارج: افزایش قیمت‌هـای داخـل (تـورم) بـه کاهش قدرت صادراتی و افزایش واردات منجر مـی‌شـود. بنـابراین، تقاضـای ارز افـزایش می‌یابد و عرضهٔ ارز کاهش پیدا می‌کند و درمجموع، نرخ ارز افزایش می‌یابـد. عکـس ایـن حالت درصورت کاهش قیمت‌های داخل در مقایسه با قیمت‌های خارجی قابل‌بیـان اسـت (سپهوند و دیگران ۱۳۹۳).

ـ رابطهٔ مبادلهٔ تجاری: رابطهٔ مبادلهٔ تجـاری بـا درآمـد حقیقـی رابطـه‌ای مسـتقیم دارد، به‌طوری‌که با بدترشدن رابطهٔ مبادله، که می‌تواند براثـر افـزایش دائمـی قیمـت‌هـای نسـبی کالاهای وارداتی رخ دهد، درآمد کاهش می‌یابد و به کاهش تقاضای کالاها منجر می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

ـ جریان ورود و خروج سرمایه: ورود سرمایه به هر شکل که باشد به افزایش نرخ ارز در بلندمدت منجر می‌شود. با افزایش ورود سرمایه بر تقاضای کالاها افزوده می‌شود و درنتیجه، قیمت کالاهای غیرقابل‌مبادله رشد می‌کند و نرخ ارز تقویت می‌شود. چنان‌چه این ورود سرمایه باعث افزایش مخارج سرمایه‌گذاری شود، می‌تواند با افزایش بهره‌وری به ارتقای سطح رقابت‌پذیری بینجامد. افزایش خروج سرمایه می‌تواند اثری معکوس را بر نرخ ارز داشته باشد.

ـ انباشت سرمایه: انباشت سرمایه بر طرف عرضهٔ اقتصاد تأثیر دارد و با افزایش توان تولیدی کشور عرضهٔ کالاها و خدمات را افزایش می‌دهد (منافی‌انور و دیگران ۱۳۹۴).

ـ بازده بازارهای رقیب: در برخی موارد به‌علت واردشدن شوک‌های مختلف به اقتصاد ارزش پول ملی دچار نوسان می‌شود و چنان‌چه این نوسان‌ها به‌سمت منفی و کاهش ارزش پول ملی باشد، افراد برای حفظ ارزش ثروت خود شروع به تبدیل پول خود به دارایی بادوام و سرمایه‌ای ازجمله طلا، انواع ارز، مسکن و مستغلات، سهام، و دیگر کالاهای سرمایه‌ای می‌کنند. بازده هریک از این بازارها در تقاضای بازار جانشین و درنتیجه نرخ تعادلی آن تأثیرگذار است.

ـ میزان عرضهٔ نفت: کاهش عرضهٔ نفت در مواقعی ازجمله تحریم‌های اقتصادی به کمبود درآمدهای ارزی منجر شده است.

ـ انتظارات آینده: پیش‌بینی از وضعیت آتی متغیرهای اقتصادی ازجمله نرخ ارز در روند آتی آن‌ها اثرگذار است. درصورتی‌که انتظار برود که نرخ ارز در آینده افزایش می‌یابد صادرکنندگان در امر صادرات تعلل می‌کنند و آن را به زمان بعد از افزایش نرخ ارز موکول خواهند کرد. عکس این ماجرا در وضعیت انتظارات آتی منفی بر نرخ ارز نیز به‌وقوع می‌پیوندد.

ـ بحران‌های مالی و تحریم‌های اقتصادی: در سال‌های اخیر به‌علت تحریم‌های اقتصادی نرخ ارز دچار نوسان‌های شدید و جهش‌های عمده‌ای در ایران شده است. یکی از دلایل این امر تحریم اقتصادی و تحت‌تأثیرقرارگرفتن کانال ورودی درآمدهای ارزی کشور، یعنی درآمدهای نفتی است. این اثرگذاری هم ازطریق تغییرات قیمت و هم ازطریق عرضهٔ نفت قابل‌ردیابی است (ابراهیمی و پدرام ۱۳۹۳؛ سپهوند و دیگران ۱۳۹۳).

همان‌طورکه اشاره شد، ترکیب روش‌های پیش‌بینی‌ها بارها در مطالعات به‌کار گرفته شده است و نتایج مطلوبی را درپی داشته است. در این مطالعه نیز علاوه‌بر مقادیر گذشتهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

سری (رویکرد تکنیکال) از به‌کارگیری عوامل مؤثر در نرخ ارز براساس مبانی نظری بهره گرفته شده است و درمجموع، دوازده متغیر برای پیش‌بینی و تحلیل رفتار نرخ ارز غیررسمی انتخاب شدند. هم‌سو با انتخاب متغیرهای واردشده در مدل در گام اول مطالعات انجام‌شده درزمینهٔ عوامل مؤثر در نرخ ارز به‌طور مبسوط موردبررسی قرار گرفت و فهرستی شامل اکثر متغیرهای اثرگذار بر نرخ ارز که تاکنون در ادبیات نظری بیان شده‌اند به‌دست آمد. در گام دوم، باتوجه‌به چند فاکتور تعداد متغیرها محدود شد که درادامه شرح داده شده است. مثلاً ازآن‌جاکه ماهیت این الگوریتم‌ها به‌نحوی است که برای آموزش آن‌ها و تکرار الگوی مشخص تعداد داده‌ها اهمیت دارند، برخی از متغیرهای تأثیرگذار به‌علت نبودن تعداد لازم داده‌ها (ماهانه از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶) در مدل وارد نشده‌اند. برخی دیگر نیز به‌علت داشتن هم‌خطی با برخی دیگر از متغیرها در مدل دخیل نشده‌اند. درنهایت، ازمیان پارامترهای متعددی که به‌منزلهٔ عوامل تأثیرگذار در مطالعات مختلف معرفی شده بودند، متغیرهای نرخ تورم ایران نرخ تورم آمریکا، قیمت نفت ایران، نرخ ارز رسمی، حجم صادرات نفت ایران، رابطهٔ مبادله، و تراز غیرنفتی به‌منزلهٔ متغیرهای کلان اثرگذار انتخاب شدند. شاخص قیمت طلای جهانی، شاخص کل بورس اوراق بهادار، شاخص قیمت مسکن[۲] نیز به‌منزلهٔ متغیرهای بازارهای رقیب در پیش‌بینی وارد شدند، چراکه تقاضای سرمایه‌گذاری و سفته‌بازی در این بازارها در تقاضای ارز در سال‌های اخیر بسیار تأثیرگذار بوده است. بازهٔ زمانی متغیرها نیز از فروردین ۱۳۸۴ تا آبان ۱۳۹۶ است. برای درنظرگرفتن اثر تحریم از شاخص تحریم معرفی‌شده در مطالعهٔ گرشاسبی و یوسفی دین‌دارلو بهره گرفته شد (گرشاسبی و یوسفی دین‌دارلو ۱۳۹۵: ۱۵۷). متغیرهای شاخص تحریم در این مطالعه شاخص قیمت کالاهای وارداتی، شاخص قیمت کالاهای صادراتی، رابطهٔ مبادله، سهم کشور از تولید نفت جهان، سهم کشور از صادرات نفت خام در جهان، سهم کشور از سرمایه‌گذاری خارجی در جهان، سهم آمریکا از تجارت خارجی ایران، پرمیوم نرخ ارز، واریانس نرخ ارز، نسبت تراز تجاری غیرنفتی به تولید، سهم کشور از مسافرت‌های هوایی در جهان، و نسبت تلفات مسافران هوایی کشور در مقایسه با جهان معرفی شده‌اند. متغیرهایی که در نرخ ارز اثرگذارند به‌منزلهٔ متغیرهای منتخب از شاخص تحریم در پیش‌بینی نرخ ارز وارد شدند. شاخص قیمت وارداتی و شاخص قیمت صادراتی به‌علت وجود رابطهٔ مبادله حذف شدند. رابطهٔ مبادله نیز به‌منزلهٔ متغیرهای کلان اثرگذار قبلاً در مدل به‌کار گرفته شده است. به‌علت دسترسی‌نداشتن به اطلاعات سهم ایران از صادرات

www.SID.ir

Archive of SID

نفت خام در جهان سهم ایران از صادرات نفت خام در خلیج فارس در مدل جای‌گزین شده است. پرمیوم نرخ ارز و واریانس نرخ ارز به‌علت هم‌خطی با نرخ ارز رسمی و غیررسمی از مدل حذف شدند. دو متغیر سهم کشور از مسافرت هوایی در جهان و نسبت تلفات مسافرت هوایی کشور در مقایسه با جهان به‌علت این‌که تأثیرگذاری چندانی در نرخ ارز ندارند، در مدل وارد نشدند. اطلاعات سهم آمریکا از تجارت خارجی ایران نیز موجود نبود. درنهایت، پیش‌بینی نرخ ارز غیررسمی در این مطالعه با لحاظ دوازده متغیر انجام شد که عبارت‌اند از: نرخ تورم ایران، نرخ تورم آمریکا، قیمت نفت ایران، قیمت طلای جهانی، شاخص کل بورس، شاخص قیمت مسکن، نرخ ارز رسمی، رابطهٔ مبادله، سهم ایران از صادرات نفت خلیج فارس، سهم ایران از تولید نفت در جهان، تراز غیرنفتی، و حجم صادرات نفت ایران. نحوهٔ محاسبه و جمع‌آوری داده‌های این متغیرها درادامه شرح داده شده‌اند. برای محاسبهٔ نرخ تورم داخل از اطلاعات شاخص قیمت بهای کالاها و خدمات مصرفی شهری ماهانه براساس سال پایهٔ ۱۳۹۵ منتشرشدهٔ بانک مرکزی استفاده شد و با تبدیل به سال پایهٔ ۱۳۷۶ شاخص قیمت ماهانه و سپس نرخ تورم محاسبه شد. برای محاسبهٔ نرخ تورم آمریکا نیز از شاخص قیمت مصرف‌کننده براساس سال پایهٔ ۲۰۱۰ موجود در بانک اطلاعاتی فدرال رزرو آمریکا استفاده شد و برای این‌که سال‌های پایهٔ نرخ‌های تورم در هر دو کشور یک‌سان شوند شاخص قیمت مصرف‌کنندهٔ آمریکا نیز براساس سال پایهٔ ۱۹۹۷ م/ ۱۳۷۶ ش تبدیل و نرخ تورم آمریکا محاسبه شد. قیمت نفت ایران از داده‌های مربوط به قیمت نفت سنگین ایران برحسب دلار به‌ازای هر بشکه از سری‌های زمانی بانک مرکزی استخراج شد. این داده‌ها برحسب ماه‌های میلادی دردست‌رس هستند که معادل تاریخ شمسی آن‌ها محاسبه شده است. برای محاسبهٔ قیمت طلای جهانی نیز از سری زمانی قیمت هر اونس طلا برحسب دلار از بانک اطلاعاتی فدرال رزرو آمریکا استفاده شد. داده‌های شاخص کل قیمت بورس از سایت بورس اوراق بهادار ایران دریافت شد و میانگین مقادیر شاخص طی یک ماه به‌منزلهٔ شاخص ماهانه محسوب شد. البته این داده‌ها از سال ۱۳۸۸ به قبل وجود نداشتند، اما از برتری نقشه‌های خودسازمان‌ده که در این مطالعه از آن استفاده شده است، این است که قادر است برای داده‌های ناقص نیز کار کند که در بخش ششم درمورد نحوهٔ کار آن توضیح داده خواهد شد. برای محاسبهٔ شاخص قیمت مسکن، به‌علت دردست‌رس‌نبودن اطلاعات شاخص قیمت مسکن، از داده‌های فصلی قیمت زمین موجود در سری‌های زمانی بانک مرکزی

www.SID.ir

Archive of SID

به‌منزلهٔ نزدیک‌ترین شاخص مربوط به داده‌های قیمت مسکن استفاده شده است و با منحنی اسپلاین به داده‌های ماهانه تبدیل شد. داده‌های نرخ ارز رسمی از داده‌های نرخ رسمی ریال دربرابر دلار آمریکا از سری‌های زمانی بانک مرکزی گرفته شد. رابطهٔ مبادله از نسبت ارزش واحد صادرات به ارزش واحد واردات برحسب میلیون دلار بر هزارتن و از اطلاعات ماهانهٔ تراز پرداخت‌های بانک مرکزی به‌دست آمد. برای محاسبهٔ سهم ایران از صادرات نفت خلیج فارس و سهم ایران از تولید دنیا اطلاعات مربوط به حجم صادرات برحسب هزار بشکه در روز به‌صورت فصلی از سری‌های زمانی بانک مرکزی به‌دست آمد و با فرض این‌که در هر ماه یک‌سوم صادرات فصلی وجود داشته باشد،[۳] صادرات نفت ماهانهٔ ایران محاسبه شد. صادرات نفت خلیج فارس نیز برحسب هزار بشکه در روز از ادارهٔ اطلاعات انرژی آمریکا به‌دست آمده است و با تقسیم صادرات نفت ایران بر خلیج فارس سهم ایران از صادرات نفت خلیج فارس محاسبه شد. داده‌های مربوط به مقدار تولید نفت خام ایران و جهان برحسب میلیون بشکه در روز از سایت ادارهٔ اطلاعات آمریکا استخراج شده است و با تقسیم آن‌ها سهم ایران از تولید دنیا محاسبه شد. اطلاعات تراز غیرنفتی نیز از داده‌های ماهانهٔ صادرات و واردات غیرنفتی موجود در نماگرهای اقتصادی بانک مرکزی استخراج شد. داده‌های ماهانهٔ مربوط به نرخ ارز غیررسمی (آزاد) نیز از اطلاعات پایگاه داده‌های سری زمانی بانک مرکزی استخراج شد. درمجموع، تمامی داده‌های موردنیاز تحقیق از بانک‌های اطلاعاتی سری زمانی و نشریات ادواری بانک مرکزی ایران، بانک مرکزی آمریکا، و ادارهٔ اطلاعات انرژی آمریکا[۴] جمع‌آوری شدند.

۴. مروری بر مطالعات پیشین

تاکنون مطالعات متعددی با روش‌های مختلف درزمینهٔ پیش‌بینی نرخ ارز انجام شده است، اما آن‌چه قابل‌ذکر است این است که درمیان مطالعات داخلی هیچ مطالعه‌ای درمورد پیش‌بینی نرخ ارز و هم‌چنین، دیگر شاخص‌های اقتصاد کلان با روش معرفی‌شده در این مقاله، یعنی «نقشه‌های خودسازمان‌ده بازگشتی» انجام نشده است و می‌توان این مطالعه را اولین مطالعه در این زمینه به‌حساب آورد. زمینه‌های کاربرد متنوعی برای به‌کارگیری این روش در مطالعات اقتصادی و مالی وجود دارد که به برخی از آن‌ها در این قسمت اشاره شده است: ۱. تحلیل روندهای اقتصادی، ۲. پیش‌بینی شاخص‌های اقتصاد کلان، ۳. مطالعات توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی، ۴. تحلیل‌های مالی، ۵. پیش‌بینی شکست‌ها و

www.SID.ir

Archive of SID

صعودها در بازارهای مالی، ۶. تحلیل ریسک‌های اعتباری و تجاری، ۷. تخصیص پرتفولیو، و ۸. ارزیابی عملکرد مالی (Deboeck 1997: 213).

بررسی مطالعات پیشین در این تحقیق در دو بخش انجام شده است. ابتدا، مطالعات انجام‌شده در زمینهٔ پیش‌بینی نرخ ارز مرور می‌شود و درادامه، برخی از مطالعات انجام‌شده با به‌کارگیری الگوریتم نقشه‌های خودسازمان‌ده در مباحث اقتصادی بررسی می‌شود.

۱.۴ مطالعات پیشین در زمینهٔ پیش‌بینی نرخ ارز

خاشعی و همکاران در تحقیق خود یک روش ترکیبی جدید از پرسپترون‌های چندلایه با استفاده از شبکه‌های عصبی احتمالی ارائه دادند. این روش‌ها تغییرات و الگوهای خاص موجود در سری زمانی نرخ ارز را بهتر و کارآتر مدل‌سازی کرد و عملکرد و دقت مدل در پیش‌بینی سری زمانی افزایش یافت (خاشعی و دیگران ۱۳۹۱: ۱). قاسمی و همکاران فرایند آشوبی و پیش‌بینی نرخ ارز را در ایران طی سال‌های ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۱ بررسی کردند (قاسمی و دیگران ۱۳۹۲: ۹۹). برای انجام این کار از آزمون‌های برک، درک، و اسنکمن (Brock, Decherd, and Seheinkman) و بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف استفاده کردند. نتایج حاکی از غیرخطی‌بودن و آشوبی‌بودن سری زمانی در نرخ ارز ایران بود. ابراهیمی و پدرام با استفاده از یک شبکهٔ عصبی با رویکرد بنیادی روند تغییرات نرخ ارز را براساس متغیرهای اقتصادی مؤثر بر آن مانند شاخص قیمت مصرف‌کننده در ایران و آمریکا، ارزش صادرات و واردات، و قیمت نفت و قیمت طلا مدل‌سازی کردند و با تحلیل حساسیتْ میزان تأثیرگذاری متغیرها را موردمقایسه قرار دادند (ابراهیمی و پدرام ۱۳۹۳: ۱۴۱). نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مدل بیش‌ترین حساسیت را در مقایسه با شاخص قیمت مصرف‌کننده از خود نشان داد و قیمت طلا، صادرات، قیمت نفت، و واردات به‌ترتیب عوامل مؤثر در روند نرخ ارز در ایران هستند. شاه‌حسینی و رضایی به مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ رسمی ارز با استفاده از مدل خودرگرسیونی با میانگین متحرک انباشته هم‌راه با عامل‌های مداخله‌ای پرداختند و این الگو را با مدل‌های گام تصادفی مقایسه کردند (شاه‌حسینی و رضایی ۱۳۹۶: ۵۱). نتایج نشان داد که مدل هم‌راه با عامل‌های مداخله‌ای عملکرد بهتری داشته است.

دیویس و اپیسکوپوس نرخ ارز را با روش‌های خودرگرسیونی ناهم‌سانی واریانس شرطی‌نمایی[5] و شبکه‌های عصبی و گام تصادفی بررسی کردند و نتایج نشان داد که عملکرد

www.SID.ir

Archive of SID

شبکه‌های عصبی و خودرگرسیونی ناهم‌سانی واریانس شرطی نمایی مشابه بود، درحالی‌که در مقایسه با مدل گام تصادفی پیش‌بینی بهتری داشته‌اند (Episcopos and Davis 2001: 168). میترا و میترا الگویی ترکیبی از هوش مصنوعی و روش موجک برای پیش‌بینی نرخ ارز روزانه ارائه دادند (Mitra and Mitra 2006: 103). برای مدل‌سازی ابتدا فرکانس‌های قابل‌تبدیل با اجزای تجزیه‌شده از فیلترینگ موجک به‌دست آمد و سپس از شبکه‌های عصبی بهینه‌شدهٔ الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی استفاده شد. نتایج نشان داد پیش‌بینی این مدل بهتر از روش‌های سنتی است. قارلقی و همکاران در مقالهٔ خود با استفاده از سری زمانی ماهانه (۱۹۸۶– ۲۰۱۰) یک مدل پولی را با قیمت‌های نسبی برای کشور مالزی برآورد کردند (Gharleghi and Shaari 2012: 1163). این مدل با روش تصحیح خطای برداری برآورد و سپس این روش با روش گام تصادفی مقایسه شد. لی، تسیا کاس، و وانگ در مطالعهٔ خود به مدل‌سازی نرخ‌های ارز دلار آمریکا، دلار استرالیا، دلار کانادا، فرانک سوئیس، مارک آلمان، پوند انگلیس، دلار نیوزلند، و کرون سوئد پرداختند (Li et al. 2015: 293). آن‌ها برای مدل‌سازی از رگرسیون خاصی به‌نام سینک آشپزخانه (Kitchen-sink regression) استفاده کردند که در آن تمامی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در رگرسیون به‌کار گرفته می‌شوند. نتیجه حاکی از این بود که پیش‌بینی خارج نمونه‌ای ازطریق این روش بهبود یافته است. گانبلد و همکاران به مدل‌سازی و پیش‌بینی نوسانات نرخ ارز در ترکیه پرداختند (Ganbold et al. 2017: 144-182). برای این قصد از روش‌های مختلف ازجمله روش‌های سری زمانی آرچ[۶] و خانوادهٔ گارچ[۷] (ای گارچ[۸]، پی گارچ[۹]، و آی گارچ[۱۰]) و هم‌چنین، روش‌های خودرگرسیونی میانگین متحرک انباشته[۱۱] و خودرگرسیونی میانگین متحرک انباشتهٔ فصلی[۱۲] و مدل‌های خودرگرسیونی برداری ساختاری[۱۳] استفاده کردند. نتایج حاکی از این بود که نقاط شکست توسط مدل‌های خانوادهٔ آرچ و گارچ به‌خوبی پیش‌بینی شد.

۲.۴ مروری بر مطالعات پیشین درزمینهٔ کاربرد نقشه‌های خودسازمان‌ده

هانگسینگ و چن در مقالهٔ خود با به‌کارگیری نقشه‌های خودسازمان‌ده دوبُعدی شش در شش ۳۶ الگوی رفتاری از بازار سهام تایوان را شناسایی کردند که نتایج نشان‌دهندهٔ این بود که الگوهای رفتاری به‌طور یک‌نواخت افزایشی یا کاهشی هستند و هیچ‌یک عملکرد تصادفی‌ای را نشان نمی‌دهند (Chen and Hongxing 2004: 203). هم‌چنین، افرادی که برحسب الگوهای این الگوریتم معامله کرده‌اند، عملکرد سودده‌تری داشتند. افولابی و اولود

www.SID.ir

Archive of SID

قیمت سهام روزانه را با روش‌های مختلف پیش‌بینی کردند و برای این‌کار از سه روش پس‌انتشار خطا، نقشه‌های خودسازمان‌ده کوهنن، و نقشه‌های خودسازمان‌ده ترکیبی (hybrid Kohonen SOM) استفاده کردند (Afolabi and Olude 2007: 48). نتایج حاکی از این بود که نقشه‌های خودسازمان‌ده ترکیبی به‌طور قابل‌توجهی خطای کم‌تری در مقایسه با دیگر روش‌ها داشته است. نگنویتسکی در این تحقیق ازطریق نقشه‌های خودسازمان‌ده وضعیت ورشکستگی بانک‌ها را بررسی کرد و مهم‌ترین دلایل و احتمال سقوط بانک‌ها را بررسی کرد (Negnevitsky 2017: 1327). نتایج تحقیق نشان داد که این الگوریتم ابزاری قوی در شناسایی احتمال ورشکستگی بانک‌ها بوده است. درمیان تحقیقات داخلی که با روش نقشه‌های خودسازمان‌ده در مباحث اقتصادی و مالی انجام شده است، فقط یک مطالعه در این زمینه انجام شده است. محمد علی‌زاده و همکاران با استفاده از نقشه‌های خودسازمان‌ده روشی برای پیش‌بینی سقوط در بازار سهام ایران ابداع کردند (محمد علی‌زاده و دیگران ۱۳۹۴: ۱۵۹). نتایج اجرای این مدل و پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای نشان داد که مدل عملکرد قابل‌قبولی در پیش‌بینی دوره‌های پیش از سقوط در بازار سهام داشته است.

۵. نقشه‌های خودسازمان‌ده

نقشه‌های خودسازمان‌ده یا به‌اختصار (SOM) گونه‌ای پیشرفته از شبکه‌های عصبی مصنوعی هستند که اساس کار آن‌ها برپایهٔ رقابت است (Kohenen 1997). SOM شبکه‌ای از واحدهای رقابتی است که با یک‌دیگر در ارتباط‌اند و به یک‌دیگر متصل‌اند. این واحدهای رقابتی هم‌بعد با داده‌های موردنظر هستند (به تعداد متغیرها) و در گام آموزش با کمک داده‌های آموزشی الگوی موجود در داده‌ها را آموزش می‌بینند. نقشه‌های خودسازمان‌ده در مقایسه با دیگر روش‌های پیش‌بینی و یادگیری الگو قادرند داده‌هایی با ابعاد بالا را به یک شبکهٔ گسستهٔ دوبعدی نگاشت کنند.

به‌طور دقیق‌تر، یک شبکهٔ SOM شامل یک شبکهٔ $G = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$ است که هر w_i برای $i = 1,2, \dots, n$ یک واحد رقابتی است و به‌صورت مشخصی، مثلاً با چهار همسایهٔ چپ، راست، بالا، و پایین خود در ارتباط است. w_i یک بردار m بعدی، مانند $w_i = (w_i^1, w_i^2, w_i^3, \dots, w_i^m)$ است. تمامی این وزن‌ها درابتدا، به‌صورت تصادفی مقداردهی می‌شوند و زمانی که در دورهٔ t یک داده (یا نمونه) آموزشی که آن را با $(X_t, y_t) = (\langle x_t^1, x_t^2, \dots, x_t^m \rangle, y_t)$ نشان می‌دهیم، به شبکه ارائه داده می‌شود، میزان شباهت هر واحد

www.SID.ir

Archive of SID

رقابتی با بردار X_t سنجیده می‌شود و شبیه‌ترین واحد رقابتی به‌منزلهٔ برنده انتخاب می‌شود. اگر برندهٔ رقابت را با b نشان دهیم، آن‌گاه:

$$\|X_t - w_b\| = \min_{1\le i\le n}\{\|X_t - w_i\|\}, \quad (۶)$$

مقدار $\|X_t - w_i\|$ که معیاری است برای میزان شباهت بین دو بردار می‌تواند فاصلهٔ دو بردار تعریف شود. این مقدار نشان‌دهندهٔ میزان نزدیکی دو دادهٔ X_t و w_i است. پس از مشخص‌شدن برندهٔ رقابت آن‌گاه طبق رابطهٔ (۷) وزن‌های شبکه به‌روز می‌شود:

$$w_i^j(t+1) = w_i^j(t) + \gamma(t)h_{ib}(t)\left(x_t^j - w_i^j(t)\right), \quad (۷)$$

که در آن $\gamma(t)$ نرخ یادگیری است که عموماً پارامتری در بازهٔ $(0,1)$ است که بسته به پارامتر t روند کاهشی دارد و $h_{ib}(t)$ فاصلهٔ واحد رقابتی i از واحد برندهٔ b است. این مقادیر با قواعد اشاره‌شده در این روابط در هر گام محاسبه و به‌روز می‌شوند.

$$\gamma(t) = \gamma_0 \exp\left(\frac{t}{t_{max}}\right), \quad (۸)$$

$$\gamma(t) = (\gamma_{max} - \gamma_{min})\frac{t_{max} - t}{t_{max} - 1} + \gamma_{min}, \quad (۹)$$

$$h_{ib}(t) = \exp\left(\frac{-d_{ib}}{2\sigma^2}\right), \quad (۱۰)$$

که t_{max} برابر تعداد کل نمونه‌های آموزشی، γ_0 مقدار پایهٔ یادگیری، و γ_{min} و γ_{max} پارامترهای کمینه و بیشینه برای یادگیری است. هم‌چنین، d_{ib} فاصلهٔ (گسسته) بین واحد رقابتی برنده و واحد i ام است. σ اندازهٔ همسایگی را نشان می‌دهد و می‌تواند همراه با ارائهٔ نمونه‌ها به شبکه روند نزولی داشته باشد. مثلاً با کمک یک مقدار همسایگی پایه σ_0 و رابطهٔ $\sigma(t) = \sigma_0\, exp\left(-t/t_{max}\right)$ به‌روز می‌شود. نمونه‌های آموزشی در گام آموزش برای $t = 1,2,\dots,t_{max}$ به شبکه ارائه می‌شود و وزن‌های واحدهای رقابتی به‌روز می‌شود. می‌توان فاز آموزش را برای چندین بار (epoch) تکرار کرد. پس از اتمام آموزش می‌توان درخصوص داده‌های آزمون قضاوت کرد. درطول دورهٔ آموزش هرکدام از داده‌ها که دارای واحد رقابتی برندهٔ یک‌سانی باشند با احتمال بالایی شبیه هم هستند. این مطلب در مبحث پیش‌بینی بدان

www.SID.ir

Archive of SID

معنی است که نتیجه یا خروجی داده‌های مشابه کمابیش باید شبیه هم باشند. از دیگر مزایای SOM می‌توان به حساسیت بسیار کم این روش به داده‌های نویزی اشاره کرد. همان‌گونه که درمورد (۶) گفته شد، پس از تعیین برندهٔ هر واحد رقابتی باتوجه‌به فاصله‌ای که از واحد برنده دارد، اوزان آن به‌روز می‌شود. واحدهایی که به واحد برنده نزدیک‌ترند تأثیر بیش‌تر و واحدهای دورتر تأثیر کم‌تری می‌پذیرند؛ ازاین‌رو، حساسیت به نویز کم‌تر خواهد بود. حتی اگر بدانیم که در بعضی مواقع برخی از داده‌ها در دوره‌هایی دردست‌رس نیستند، می‌توان تعیین برنده و به‌روزرسانی واحدهای رقابتی را بدون درنظرگرفتن بعد jام انجام داد.

حال برای آن‌که بتوانیم از شبکه‌های خودسازمان‌ده برای پیش‌بینی استفاده کنیم، گونهٔ جدیدتری از آن‌ها را با عنوان «شبکه‌های خودسازمان‌ده بازگشتی» (Recurrent SOM)، که آن را با RSOM نشان می‌دهیم، معرفی می‌کنیم.

۱.۵ نقشه‌های خودسازمان‌ده بازگشتی

تفاوت RSOM با SOM در خروجی‌های آن‌هاست. خروجی یا همان مقدار خطای هر واحد رقابتی برابر اختلاف بردار نمونهٔ آموزشی و بردار وزن هر واحد رقابتی در شبکه است. در SOM معمولی این مقدار خروجی پس از ارائهٔ هر نمونهٔ آموزشی برابر صفر می‌شود؛ ازاین‌رو، تاریخچه یا حافظهٔ رفتاری هر واحد رقابتی صفر می‌شود و به‌این‌ترتیب، نقشه‌های خودسازمان‌ده فقط به آخرین نمونهٔ آموزشی حساس‌اند. این درحالی است که در RSOM مقدار خطای واحد رقابتی iام در یک حافظهٔ خارجی مانند z_i نگه‌داری می‌شود و هر نمونهٔ آموزشی پس از ارائه به‌روز می‌شود. سپس، از این مقدار انباشته در تعیین واحد رقابتی برنده استفاده می‌شود.

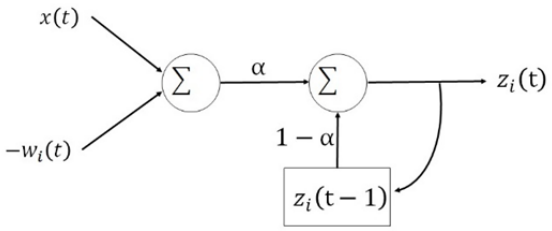
$$z_i(t) = (1-\alpha)z_i(t) + \alpha\big(x(t) - w_i(t)\big), \qquad (۱۱)$$

در رابطهٔ مذکور $0 < \alpha < 1$ نرخ نفوذ است. با افزایش مقدار α اثر خطاهای گذشتهٔ واحد رقابتی کاهش می‌یابد. شکل ۱ بیانی شماتیک از این رابطه را نشان می‌دهد. مقدار $z_i(t)$ به‌دست‌آمده از این رابطه جای‌گزین مقدار $\left(x_t^j - w_i^j(t)\right)$ در رابطهٔ (۲) خواهد شد. هم‌چنین، واحد رقابتی برنده ازطریق این رابطه محاسبه و مشخص می‌شود:

$$z_b = \min_{1\le i\le n}\{\|z_i(t)\|\}. \qquad (۱۲)$$

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. ساختار RSOM برای واحد رقابتی iام

۲.۵ الگوریتم پیش‌بینی نرخ ارز با کمک متغیرهای وابسته

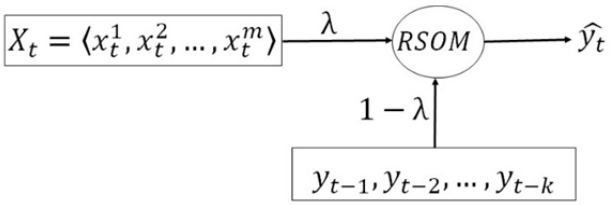
فرض کنید $y_1, y_2, y_3, \dots, y_{t-1}$ مقادیر مشاهده‌شده از یک سری زمانی از دورهٔ یک تا دورهٔ t باشد. در تخمین و پیش‌بینی سری‌های زمانی مستقل مقدار y_t به مقادیر قبلی خود (مثلاً k مقدار قبلی) وابسته است و با کمک تابعی از آن‌ها به‌علاوهٔ مقدار جزء خطای ε_t قابل‌محاسبه است. این واقعیت می‌تواند با این رابطه بیان شود:

$$y_t = f(y_{t-1}, y_{t-1}, \dots, y_{t-k}) + \varepsilon_t. \qquad (۱۳)$$

ازآن‌جاکه تعیین دقیق مقدار k و هم‌چنین تعریف تابع f کاری مشکل و گاهی غیرممکن است، این مسئله با عنوان «مسئلهٔ پیش‌بینی سری‌های زمانی» مطرح است. درادامه، با کمک RSOM، که در بخش قبل آورده شد، الگوریتمی برای تخمین (پیش‌بینی) مقدار y_t که با $\hat{y}_t$ نشان داده شده است، ارائه می‌شود. قابل‌ذکر است که با محاسبهٔ $\hat{y}_t$ و جای‌گزینی با y_t، می‌توان مقادیر y_{t+1}، و y_{t+2}، و ... را نیز با همین روش تخمین زد. حال اگر سری زمانی موردنظر در دورهٔ t خود به‌صورت تابعی از m متغیر مستقل مانند $X_t = \langle x_t^1, x_t^2, \dots, x_t^m \rangle$ باشد، آن‌گاه می‌توان در محاسبهٔ $\hat{y}_t$ علاوه‌بر مقادیر $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-k}$ مقادیر متغیرهای مستقل را نیز به‌کار برد. این کار پیش‌بینی و تخمین دقیق‌تری را به‌همراه خواهد داشت. این ایده‌ای است که در ارائهٔ الگوریتم این تحقیق از آن بهره گرفته شده است. این ایده به‌صورت شماتیک در شکل ۲ آورده شده است. باتوجه‌به، میزان وابستگی مقادیر سری به مقادیر قبلی یا وابستگی آن به مجموعهٔ متغیرهای مستقل X_t می‌توان وابستگی تخمین الگوریتم RSOM را با پارامتر λ کنترل کرد. برای این کنترل کافی است در الگوریتم RSOM برای سنجش میزان شباهت (رابطهٔ ۶) تأثیر m بُعد متغیرهای مستقل را در λ و k جملهٔ پیشین را در $1 - \lambda$ ضرب کرد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. ساختار پیش‌بینی مقدار y_t از یک سری زمانی با کمک متغیرهای مستقل آن و k مقدار قبلی سری

دقت شود که درصورتی‌که مقادیر سری به هیچ متغیر مستقل دیگری وابسته نباشند (مقدار m برابر صفر باشد)، آن‌گاه همان رابطهٔ (۱۱) حاصل خواهد شد که برای تخمین فقط از k دادهٔ قبلی استفاده می‌شود. این مدل تلاش می‌کند با کمک k جملهٔ قبلی یک سری زمانی به‌همراه عوامل اثرگذار مستقل در جملات سری به‌صورت هم‌زمان و به‌ترتیب با ضریب $1-\lambda$ و λ در پیش‌بینی لحاظ کند. بنابراین، با کمک تغییر مقدار λ می‌توان به‌راحتی میزان تأثیرپذیری را کنترل کرد.

در الگوریتم آموزش شبکه اگر سری زمانی مستقل باشد و تابع هیچ متغیر وابسته‌ای نباشد، آن‌گاه مقدار m برابر صفر و تنها ورودی الگوریتم همان مقادیر سری است. در این حالت، همان‌گونه‌که پیش‌تر نیز توضیح داده شد، همانند رابطهٔ (۷) با کمک الگوریتم RSOM هدف یادگیری رفتار تابع f خواهد بود. دقت شود که هیچ نتیجه‌ای از معادله یا رابطهٔ تابع f به‌دست نخواهد آمد، اما شبکه رفتار تابع f را خواهد آموخت. برای این کار ابتدا، واحد رقابتی برنده برای ورودی m+k تایی مشخص می‌شود و سپس، بعد m+k+1 ام این واحد برنده به‌منزلهٔ خروجی برگردانده خواهد شد. به همین علت، برای تعیین برنده در حین آموزش شبکهٔ الگوریتم فقط از m+k بعد اول استفاده می‌کند و پس از تعیین برنده بعد m+k+1 را نیز با کمک بعد متناظرش در بردار آموزشی به‌روز می‌کند. پس از آن‌که مقادیر متغیرها برای دورهٔ T تخمین زده شد، با کمک آن‌ها و تکرار الگوریتم مقادیر T+1، T+2 نیز تخمین زده می‌شوند.

۶. نتایج شبیه‌سازی

در این بخش نتایج الگوریتم پیش‌نهادی برای پیش‌بینی نرخ ارز بررسی شده است. مشخصات مربوط به RSOM و پارامترهای آن در جدول ۱ آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. پارامترهای استفاده‌شده در الگوریتم

اندازهٔ شبکه ـ تعداد واحدهای رقابتی	شبکهٔ مربعی منظم ۴۰×۴۰
نحوهٔ تعیین فاصله بین هر دو واحد رقابتی	فاصلهٔ منتهی بین دو نود از شبکه
معیار شباهت در تعیین واحد برنده	فاصلهٔ اقلیدسی بین بردارها
$(\gamma_0, \gamma_{max}, \gamma_{min}, \alpha, t_{max})$	(۱،۲،۰،۰.۷،۱۲۰)
(m, k)	(۱۲،۶)

در شبیه‌سازی اطلاعات مربوط به ۱۵۲ ماه (از فروردین ۱۳۸۴ تا آبان ۱۳۹۶) برای متغیرهای مستقل و نرخ ارز غیررسمی به‌منزلهٔ سری زمانی اصلی به‌کار رفته است. این مقادیر به‌جز برای داده‌های هر مترمربع زمین به‌منزلهٔ نمایندهٔ شاخص قیمت مسکن که به‌صورت فصلی است و داده‌های شاخص کل بورس که از خرداد ۱۳۸۸ تا آبان ۱۳۹۶ دردست‌رس بود، برای دیگر متغیرها موجود است. برای تبدیل داده‌های فصلی مسکن به فرمت ماهیانه از اسپلاین مکعبی استفاده شد و درون‌یابی شده است. کمبود اطلاعات مربوط به شاخص کل بورس نیز مشکلی در پیش‌بینی و کارکرد الگوریتم ایجاد نمی‌کند، زیرا همان‌طورکه در بخش قبل اشاره شد (رابطهٔ ۶)، می‌توان تعیین واحد برنده را بدون درنظرگرفتن برخی از ابعاد نیز انجام داد.

برای ارزیابی کارآیی و دقت عملکرد نقشه‌های خودسازمان‌ده و مقایسهٔ آن با دیگر روش‌های آماری شاخص‌هایی وجود دارد که در این مطالعه از معیارهای میانگین قدرمطلق خطا[۱۴](MAE)، بیشینهٔ قدرمطلق خطا[۱۵] (MAXAE)، و درصد میانگین مطلق خطا[۱۶] (MAPE) که روابط آن‌ها درادامه آورده شده است، برای ارزیابی و مقایسهٔ مدل‌ها استفاده شده است.

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}_i|, \qquad (۱۴)$$

$$\mathrm{MAXAE} = \max_{1\le i\le n}|\mathrm{y_i} - \hat{\mathrm{y}}_\mathrm{i}|, \qquad (۱۵)$$

$$\mathrm{MAPE} = \frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{\mathrm{y_i} - \hat{\mathrm{y}}_\mathrm{i}}{\mathrm{y_i}}\right|, \qquad (۱۶)$$

در این روابط n تعداد نمونه‌های ارزیابی‌شده با الگوریتم و y_i و $\hat{y}_i$ به‌ترتیب مقدارهای واقعی و پیش‌بینی‌شدهٔ الگوریتم برای متغیر یا سری موردنظر در دورهٔ iام هستند. هم‌چنین، در این مطالعه برای مقایسه از دو روش ARIMA[۱۷] و L-BFGS[۱۸] نیز استفاده شده است (Morales and Nocedal 2011).

www.SID.ir

Archive of SID

برای ارزیابی مدل‌ها ابتدا از ۱۳۰ دادهٔ نخست برای آموزش شبکه و سپس از ۵۲ دادهٔ آخر (دورهٔ ۱۰۰ تا ۱۵۲) برای آزمون شبکه استفاده شده است. به‌این‌ترتیب، داده‌های آموزشی و آزمون در سی داده با یک‌دیگر مشترک‌اند و ۲۲ داده آزمون خواهد شد، که شبکهٔ آن‌ها را در فاز آموزش تجربه نکرده است.

آموزش و آزمون برای تمامی دوازده متغیر نرخ تورم ایران، نرخ تورم آمریکا، قیمت نفت ایران، نرخ ارز رسمی، حجم صادرات نفت ایران، رابطهٔ مبادله، سهم ایران از صادرات نفت خلیج فارس، سهم ایران از تولید نفت جهان، تراز غیرنفتی، شاخص کل بورس اوراق بهادار، شاخص قیمت مسکن، و قیمت طلای جهانی انجام شده است. ازآن‌جاکه این متغیرها مستقل فرض شده‌اند و تنها دادهٔ دردست‌رس از آن‌ها سری زمانی آن‌هاست، بنابراین، در اجرای الگوریتم آموزش و پیش‌بینی متغیرها به‌روش RSOM از مقدار $\lambda = 0$ استفاده شده است و پیش‌بینی صرفاً براساس جملات سری است (شکل ۲). نتایج این پیش‌بینی‌ها در جدول ۲ گزارش شده است. نمودارهای ۱ تا ۱۲ نیز مقادیر به‌دست‌آمده را برای هرکدام از متغیرهای مذکور نشان می‌دهند. در هر مورد، نمودار سیاه‌رنگ مقادیر واقعی را طی ۱۵۲ دوره (به‌استثنای متغیر شاخص بورس برای ۱۰۲ دوره) نشان می‌دهد. هم‌چنین، نمودار آبی‌رنگ از دورهٔ ۱۰۰ تا ۱۵۲ نتایج پیش‌بینی الگوریتم را نشان می‌دهند. پس از اتمام این ارزیابی مجدداً شبکه برای تمامی ۱۵۲ دادهٔ موردنظر آموزش داده می‌شود و سپس در هر مورد برای شش ماه آینده (آذر ۱۳۹۶ تا اردیبهشت ۱۳۹۷) مقادیر پیش‌بینی شده‌اند. نتایج این پیش‌بینی‌ها با نمودار قرمزرنگ نشان داده شده‌اند و مقادیر پیش‌بینی‌شدهٔ شش‌ماهه در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲. نتایج ارزیابی و آزمون الگوریتم پیش‌نهادی برای پیش‌بینی متغیرهای مستقل و نرخ ارز غیررسمی

معیارهای ارزیابی	نرخ تورم ایران	نرخ تورم آمریکا	قیمت نفت ایران	قیمت طلای جهانی	نرخ رسمی ارز	صادرات نفت ایران
MAE	۰/۲۲۳۳	۰/۰۹۰۴۴	۲/۶۲۰۳	۲۱/۳۰۵۳	۲۰۲/۲۲۱	۱۳۱۵/۷۳
MAXAE	۰/۶۷۵۹	۰/۲۵۲۱	۸/۲۲۰۴	۷۰/۳۲۷۶	۶۶۵۷/۰۶	۵۲۰۶/۸۴
MAPE	۰/۰۳۸۱۸	۰/۰۲۲۶۷	۰/۰۵۰۷	۰/۰۱۷	۰/۰۰۷۱۷	۰/۰۸۱۵
معیارهای ارزیابی	**رابطهٔ مبادله**	**سهم ایران از صادرات نفت خلیج فارس**	**سهم ایران از تولید نفت جهان**	**تراز غیرنفتی**	**شاخص کل بورس**	**شاخص قیمت مسکن**
MAE	۰/۰۱۵۵	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۰۳۷	۱۰۵۸/۲۴	۰/۰۱۷	۰/۰۰۴۲۸
MAXAE	۰/۱۴۵۳	۰/۰۲۴۳	۰/۰۰۱۷	۴۹۲۱	۰/۰۸۶	۰/۰۱۹۴
MAPE	۰/۰۴۸۴	۰/۰۴۸۸	۰/۰۰۸۳۷	۰/۰۱۰۵۶	۰/۰۲۱۴	۰/۰۰۵

منبع: یافته‌های تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

برای ارزیابی تأثیر مقدار پارامتر λ، که میزان تأثیر هم‌زمان جملات سری و متغیرهای مؤثر آن را کنترل می‌کند، الگوریتم RSOM برای مقادیر مختلف λ به همان ترتیبی که در بخش قبل آورده شد، اجرا شد و نتایج در جدول ۳ گزارش شده است. اولین نتیجه‌ای که از این جدول برپایهٔ معیار خطای نسبی (MAPE) به‌دست می‌آید، تأثیر پارامتر λ است. همان‌طورکه دیده می‌شود، بهترین نتیجه برای $\lambda = 0.6$ به‌دست آمده است که میزان خطای نسبی آن تقریباً برابر سه درصد بوده است و با افزایش و کاهش λ میزان خطای پیش‌بینی افزایش می‌یابد. این مطلب تأییدی است بر این‌که در سری‌های زمانی که تابعی از چندین متغیر مستقل است، می‌توان با دخیل‌کردن هم‌زمان جملات سری و متغیرهای مؤثر در آن دقت پیش‌بینی را به‌صورت چشم‌گیری افزایش داد.

جدول ۳. نتایج ارزیابی و آزمون الگوریتم پیش‌نهادی برای پیش‌بینی نرخ ارز غیررسمی براساس مقادیر مختلف λ

معیارهای ارزیابی	نرخ ارز غیررسمی پیش‌بینی‌شدهٔ الگوریتم RSOM برای مقادیر مختلف λ						
	$\lambda = 0$	$\lambda = 0.2$	$\lambda = 0.4$	$\lambda = 0.5$	$\lambda = 0.6$	$\lambda = 0.8$	$\lambda = 1$
MAE	۱۱۶۵/۳۴۸۵	۸۶۲/۲۰۱۰	۷۲۰/۸۹۱۵	۶۹۴/۴۲۱۵	۶۶۳/۳۰۵۳	۲۱۷۵/۷۸۸	۹۶۲/۲۰۱۵
MAXAE	۲۵۹۶/۶۳۳۹	۲۵۳۶/۴۶۶۰	۲۲۳۲/۰۶۸۵	۲۰۶۳/۱۲۹۰	۲۱۴۸/۰۰۶۳	۲۴۳۵/۹۲۸۲	۲۶۶۰/۰۷۲۹۱
MAPE	۰/۱۰۱۵۴	۰/۰۸۸۲۱	۰/۰۴۶۲۰	۰/۰۳۳۰۷	۰/۰۲۹۶۴	۰/۰۵۶۶۵	۰/۰۹۳۳۸

منبع: یافته‌های تحقیق

درنهایت، باتوجه‌به جدول ۳ ازآن‌جاکه مقدار $\lambda = 0.6$ به عملکرد بهتری از الگوریتم منجر شده است انتخاب می‌شود و الگوریتم نقشه‌های خودسازمان‌ده یک‌بار دیگر برای تمامی ۱۵۲ داده دردست‌رس آموزش داده می‌شود و مقادیر نرخ ارز برای شش ماه آتی (آذر ۹۶ تا اردیبهشت ۹۷) پیش‌بینی شده است. هم‌چنین، نمودار ۱۳ مقادیر پیش‌بینی‌شده را برای دوره‌های ۱۰۱ تا ۱۵۲ (نمودار آبی‌رنگ) و هم‌چنین، شش ماه آتی آن (نمودار قرمزرنگ) نشان می‌دهد.

اگرچه این تحقیق در پیش‌بینی نرخ ارز غیررسمی باتوجه‌به متغیرهای تأثیرگذار و شاخص تحریم تمرکز دارد، درادامه برای بررسی کارآیی نقشه‌های خودسازمان‌ده بازگشتی این نقشه‌ها با دو روش ARIMA و L-BFGS مقایسه شده‌اند و نتایج ارزیابی آن‌ها به‌صورت مقایسه‌ای برمبنای معیارهای MAE، MAXAE، و MAPE در جدول ۴ آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

اولین گام برای پیش‌بینی به‌کمک مدل ARIMA بررسی مانایی متغیر است. برای این منظور، ابتدا مانایی سری زمانی نرخ ارز غیررسمی با آزمون ریشهٔ واحد دیکی فولر تعمیم یافت و به‌کمک معیار شوارتز ــ بیزین بررسی شد. نتیجه از این قرار بود که نرخ ارز غیررسمی نامانا بود و با یک مرتبه تفاضل‌گیری مانا شد (d=1). سپس، برای انتخاب مدل مناسب ARIMA طبق روش باکس ــ جنکینز، برای تعیین p و q در الگوی ARIMA از تابع خودهم‌بستگی (ACF) و تابع خودهم‌بستگی جزئی (PACF) سری زمانی استفاده شد. درنهایت، براساس نمودارهای هم‌بستگی نگار (Corrologram) الگوی مناسب میانگین متحرک خودرگرسیون انباشته (۳,۱,۴) ARIMA به‌دست آمد. روش L-BFGS نیز یک روش ساختاریافته (structural) با حافظهٔ محدود برپایهٔ روش شبه‌نیوتن (Newton-Quasi) است که برای بهینه‌سازی توابع بدون قید که رفتار غیرخطی دارند استفاده می‌شود. این روش تلاش می‌کند با کمک روش نیوتن و مشتق‌گیری تخمین خوبی از رفتار توابع به‌دست آورد[۱۹] (Saputro and Widyaningsih 2017). باتوجه‌به معیارهای ارزیابی گزارش‌شده در جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که روش پیش‌نهادی SOM قابلیت خوبی در پیش‌بینی نرخ ارز در مقایسه با دو روش دیگر دارد. البته باید توجه کرد که روش SOM علاوه‌بر به‌کارگیری مقادیر سری در ۱۵۲ دورهٔ قبل به‌طور هم‌زمان (با مقدار $\lambda = 0.6$) از مقادیر پیش‌بینی‌شدهٔ مربوط به متغیرهای مستقل نیز بهره برده است. برپایهٔ این نتایج SOM بهتر از هر دو روش دیگر توانسته است نرخ ارز غیررسمی را در شش ماههٔ آذر ۹۶ تا اردیبهشت ۹۷ پیش‌بینی کند.

هرچند درصد میانگین مطلق خطای پیش‌بینی نرخ ارز غیررسمی در مقایسه با پیش‌بینی مرحلهٔ آزمون (برای داده‌های دورهٔ ۱۰۱ تا ۱۵۲) افزایش داشته است و تقریباً یازده درصد شده است، در این تحقیق سعی شده است مهم‌ترین متغیرهایی که تحت‌تأثیر تحریم قرار دارند در مدل وارد شوند و می‌توان این افزایش خطا را ناشی از اثرگذاری دیگر عواملی دانست که در مدل وارد نشده یا در بازه‌های زمانی قبل‌تر تجربه نشده‌اند، بنابراین الگوریتم آن‌ها را برای یادگیری در اختیار نداشته است. مثلاً می‌توان شدت اعمال تحریم‌ها و آثار روانی و اجتماعی گستردهٔ آن را در این دوره، اثرات روانی تنش‌های ایجادشدهٔ رئیس‌جمهور آمریکا، و تنش‌های ناشی از تصمیم‌ها و رفتارهای او، و ... را ازجمله مواردی دانست که در شدت نوسان‌های نرخ ارز تأثیر داشته است، ولی در مدل وارد نشده‌اند. به همین علت، توصیه می‌شود در مطالعات آتی با درنظرگرفتن چنین عواملی مدل را به مدلی واقعی‌تر نزدیک کرد.

www.SID.ir

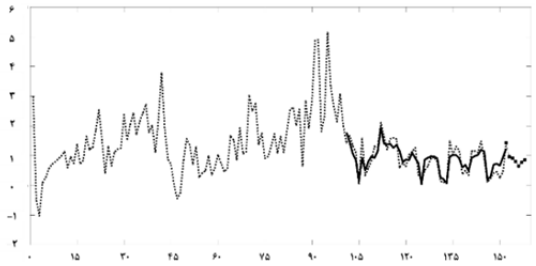
Archive of SID

جدول ۴. نتایج پیش‌بینی نرخ ارز غیررسمی با الگوریتم پیش‌نهادی RSOM، ARIMA، و L-BFGS برای شش ماه آتی

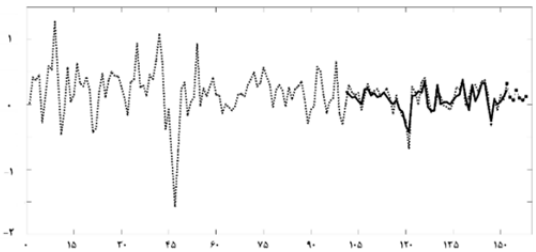
ماه پیش‌بینی	مقدار واقعی نرخ ارز غیررسمی	مقادیر پیش‌بینی‌شدهٔ الگوریتم‌ها		
		SOM	ARIMA	L-BFGS
آذر ۹۶	۴۱۶۶۴	۴۰۳۶۸/۴۲	۴۱۰۷۵	۴۰۸۹۷
دی ۹۶	۴۳۰۵۷	۴۰۱۵۶/۰۳	۴۱۳۷۰	۴۱۶۵۵
بهمن ۹۶	۴۶۳۵۰	۴۰۶۰۰/۱۷	۴۱۵۸۹	۴۲۰۱۱
اسفند ۹۶	۴۶۴۳۴	۴۱۸۴۸/۴۰	۴۱۶۵۰	۴۱۸۴۱
فروردین ۹۷	۵۰۰۸۳	۴۴۰۹۲/۴	۴۱۹۷۱	۴۱۸۶۵
اردیبهشت ۹۷	۶۱۳۰۰	۴۸۲۵۶/۹	۴۱۹۹۵	۴۱۹۶۵
معیار برازش				
MAE		۵۵۹۴/۲۶	۶۵۳۹/۶۷	۶۴۴۵/۳۳
MAXAE		۱۳۰۴۳/۰۸	۱۹۳۰۵	۱۹۳۳۵
MAPE		۰/۱۰۸۹	۰/۱۲۲۷	۰/۱۲۰۶

منبع: یافته‌های تحقیق

درادامه، نمودارهای مربوط به پیش‌بینی هریک از متغیرهای مستقل و نرخ ارز غیررسمی در دورهٔ شش‌ماههٔ آتی نشان داده شده‌اند.



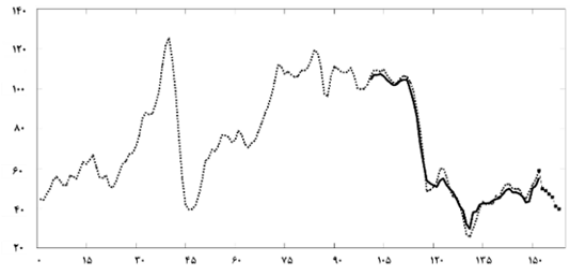
نمودار ۱. پیش‌بینی نرخ تورم داخلی ایران



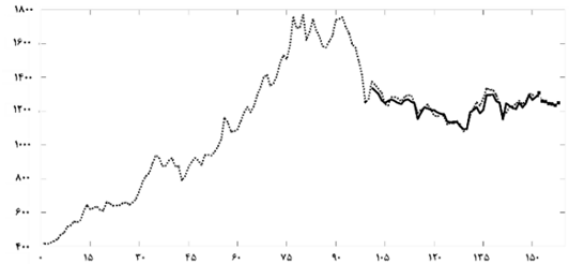
نمودار ۲. پیش‌بینی نرخ تورم آمریکا

www.SID.ir

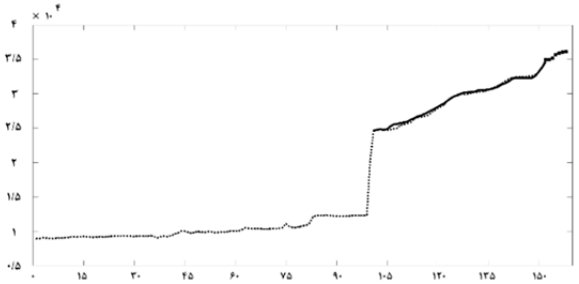
Archive of SID



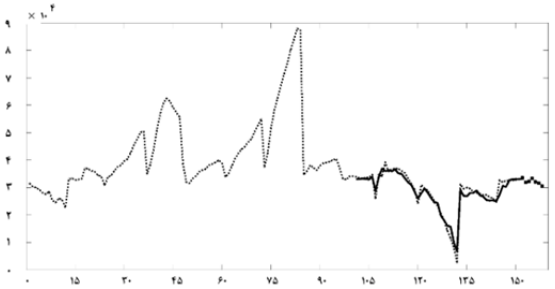
نمودار ۳. پیش‌بینی قیمت نفت ایران



نمودار ۴. پیش‌بینی قیمت طلای جهانی



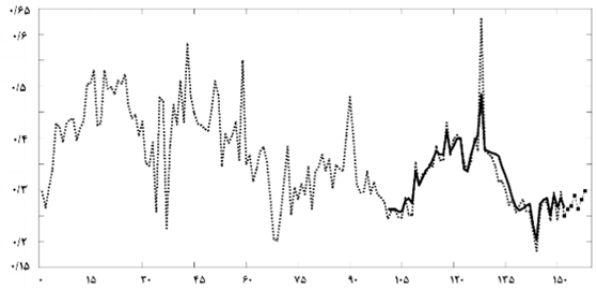
نمودار ۵. پیش‌بینی نرخ رسمی ارز



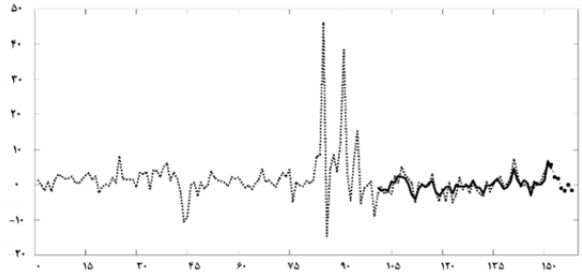
نمودار ۶. پیش‌بینی صادرات نفت ایران

www.SID.ir

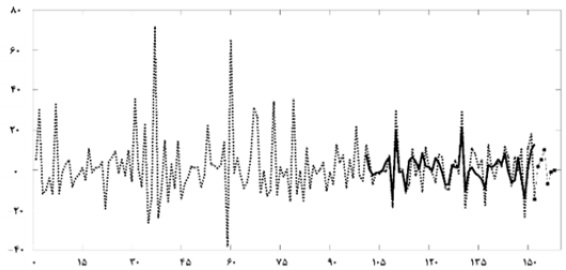
Archive of SID



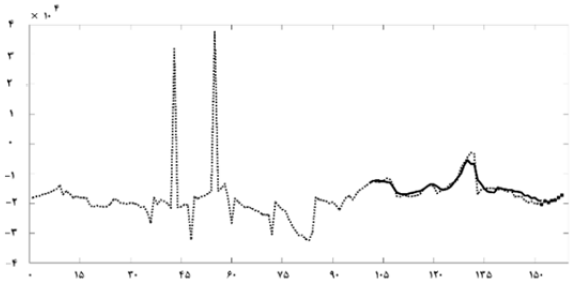
نمودار ۷. پیش‌بینی رابطهٔ مبادله



نمودار ۸. پیش‌بینی سهم ایران از صادرات نفت خلیج فارس



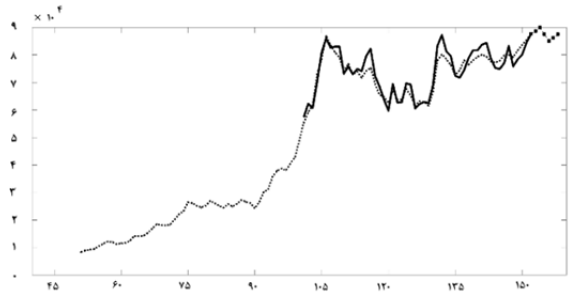
نمودار ۹. پیش‌بینی سهم ایران از تولید نفت جهان



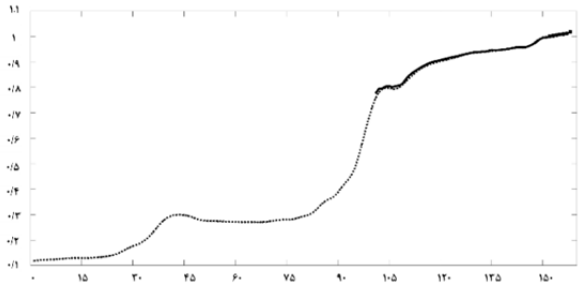
نمودار ۱۰. پیش‌بینی تراز غیرنفتی

www.SID.ir

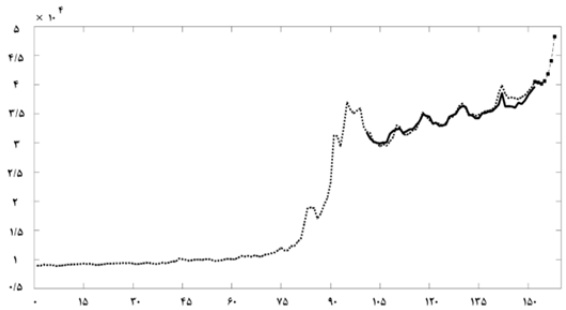
Archive of SID



نمودار ۱۱. پیش‌بینی شاخص کل بورس



نمودار ۱۲. پیش‌بینی شاخص قیمت مسکن



نمودار ۱۳. پیش‌بینی نرخ ارز غیررسمی

۷. نتیجه‌گیری

نرخ ارز یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقتصادی است که تغییرات آن در تمامی ابعاد اقتصاد در هر کشور تأثیر می‌گذارد. این تأثیرگذاری در کشورهایی ازقبیل ایران، که به‌شدت وابسته به درآمدهای نفتی هستند، از اهمیت بیش‌تری برخوردار است و شدیدتر است. به همین

www.SID.ir

Archive of SID

علت، پیش‌بینی دقیق‌تر نرخ ارز همواره موردتوجه محققان بوده است و روش‌های مختلفی را برای این امر موردآزمون قرار داده‌اند. درهمین‌باره، در این تحقیق سعی شده است با یکی از روش‌های برآورد غیرخطی، یعنی نقشه‌های خودسازمان‌ده بازگشتی، که نوعی شبکهٔ عصبی مصنوعی رقابتی است، نرخ ارز غیررسمی پیش‌بینی شود. برای این امر متغیرهای مؤثر مهم اقتصاد کلان در مدل وارد شده‌اند. هم‌چنین، به‌علت تأثیرگذاری تحریم در نرخ ارز متغیرهایی که براثر تحریم بیش‌ترین تغییرات را متحمل می‌شوند نیز براساس شاخص تحریمِ معرفی‌شده در مطالعات پیشین به‌منزلهٔ متغیرهای اثر تحریم بر نرخ ارز مورداستفاده قرار گرفتند. علاوه‌براین، متغیرهای شاخص قیمت طلا، شاخص کل بورس اوراق بهادار، و شاخص قیمت مسکن نیز به‌منزلهٔ متغیرهای بازارهای رقیب در پیش‌بینی دخیل شدند. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از دقت قابل‌قبول مدل در پیش‌بینی نرخ ارز است. به‌منظور بهترکردن پیش‌بینی نرخ ارز واردکردن دیگر متغیرهای تأثیرگذار ازجمله عوامل رفتاری و اجتماعی و تنش‌های سیاسی در مدل برای مطالعات آتی پیش‌نهاد می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1. self-organizing map (SOM)

۲. به‌علت دردست‌رس‌نبودن اطلاعات شاخص قیمت مسکن از داده‌های قیمت زمین به‌منزلهٔ نزدیک‌ترین شاخص مربوط به داده‌های قیمت مسکن استفاده شده است.

۳. این فرض با مشورت و نظرخواهی از کارشناسان شرکت نفت لحاظ شد.

4. U.S. energy information administration (EIA)

5. exponential general autoregressive conditional heteroscedastic (EGARCH)

6. autoregressive conditional heteroscedasticity (ARCH)

7. generalized autoregressive conditional heteroscedasticity

8. exponential general autoregressive conditional heteroscedastic

9. power generalized autoregressive conditional heteroscedasticity

10. integrated generalized autoregressive conditional heteroscedasticity

11. autoregressive integrated moving average

12. seasonal ARIMA (SARIMA)

13. structural vector autoregressive models (SVAR)

14. mean absolute error

www.SID.ir

Archive of SID

15. maximal absolute error
16. mean absolute percentage error
17. autoregressive integrated moving average
18. limited-memory broyden–fletcher–goldfarb–shanno algorithm (L-BFGS)
19. https://www.wessa.net/rwasp_structuraltimeseries.wasp

کتاب‌نامه

ابراهیمی، مریم و مهدی پدرام (۱۳۹۳)، «بررسی اهمیت و میزان تأثیرگذاری متغیرهای اقتصادی بر نرخ ارز در ایران»، فصل‌نامهٔ *سیاست‌گذاری پیشرفت اقتصادی*، ش ۲.

اصغرپور، حسین، علی مهدی‌لو، و میثم اسماعیلی (۱۳۹۲)، «بررسی عوامل تعیین‌کنندهٔ نرخ ارز مؤثر واقعی در ایران با استفاده از رگرسیون فازی»، فصل‌نامهٔ *پژوهش‌های اقتصادی کاربردی*، ش ۳.

حلافی، حمیدرضا، علی‌رضا اقبالی، و ریحانه گسکری (۱۳۸۳)، «انحراف نرخ ارز واقعی و رشد اقتصادی در اقتصاد ایران»، *پژوهش‌نامهٔ اقتصادی*، دورهٔ ۴، ش ۳.

حیدری، حسن و صمد عزیزنژاد (۱۳۹۵)، «تحلیل نوسانات نرخ ارز در ماه‌های اخیر»، *مطالعات اقتصادی*، گروه بازارهای مالی، مرکز پژوهش‌های مجلس، شمارهٔ مسلسل ۱۵۲۵۰.

خاشعی، مهدی، مهدی بیجاری، و فریماه مخاطب رفیعی (۱۳۹۱)، «پیش‌بینی نرخ ارز با به‌کارگیری مدل‌های ترکیبی پرسپترون‌های چندلایه (MPLs) و طبقه‌بندی‌کننده‌های عصبی احتمالی (PNNs)»، فصل‌نامهٔ *روش‌های عددی در مهندسی*، ش ۱.

خواجه محمدلو، علی و حسن خداویسی (۱۳۹۶)، «بررسی ارتباط نرخ ارز، نرخ تورم، و نرخ بهره تحت رویکرد تئوری‌های فیشر در اقتصاد ایران»، فصل‌نامهٔ *مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ش ۲۴.

سپهوند، احسان، روح‌الله نیرومند، و محمدرضا زارع مهرجردی (۱۳۹۳)، «تعیین عوامل مؤثر بر نرخ ارز در ایران»، فصل‌نامهٔ *تحقیقات توسعهٔ اقتصادی*، ش ۱۶.

شاه‌حسینی، سمیه و علی رضایی (۱۳۹۶)، «پیش‌بینی نرخ رسمی ارز در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیونی ARIMA هم‌راه با عامل‌های مداخله‌ای و مقایسهٔ آن با مدل گام تصادفی»، *اقتصاد و تجارت نوین*، ش ۱.

فتاحی، شهرام، آرش احمدی، و علی‌اکرم میرزایی (۱۳۹۱)، «مقایسهٔ دقت روش الگوریتم ژنتیک با روش¬های دیگر پیش‌بینی‌های نرخ ارز»، *مطالعات و سیاست¬های اقتصادی*، ش ۱.

قاسمی، محمدرضا، داوود محمودی‌نیا، و ثریا میرزایی (۱۳۹۲)، بررسی فرایند آشوبی و پیش‌بینی نرخ ارز ایران طی سال‌های ۱۳۹۱– ۱۳۵۹»، فصل‌نامهٔ *تحقیقات توسعهٔ اقتصادی*، ش ۱۲.

کازرونی، علی‌رضا، زانا مظفری، مریم کریمی کندوله، و مسلم امینی (۱۳۹۴)، «تأثیر انحراف نرخ ارز مؤثر واقعی بر صادرات غیرنفتی ایران کاربردی از رهیافت BEER»، فصل‌نامهٔ *دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، ش ۳۲.

www.SID.ir

Archive of SID

گرشاسبی، علی‌رضا و مجتبی یوسفی دین‌دارلو (۱۳۹۵)، «بررسی اثرات تحریم بین‌المللی بر متغیرهای کلان اقتصادی ایران»، فصل‌نامهٔ *تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، ش ۲۵.

محمدعلی‌زاده، آرش، رضا راعی، و شاپور محمدی (۱۳۹۴)، «پیش‌بینی سقوط بازار سهام با استفاده از شبکه‌های عصبی‌نگاشت خودسازمان‌ده»، فصل‌نامهٔ *تحقیقات مالی*، ش ۱.

منافی انور، وحید، فرهاد خداداد کاشی، جهانگیر بیابانی، و فاطمه پاسبان (۱۳۹۴)، «عوامل مؤثر بر تغییرات نرخ ارز واقعی و تأثیر آن بر شاخص رقابت‌پذیری در اقتصاد ایران ۱۳۹۲– ۱۳۵۸»، فصل‌نامهٔ *علوم اقتصادی*، ش ۳۲.

مهرآرا، محسن (۱۳۸۴)، «نرخ ارز حقیقی و عوامل تعیین‌کنندهٔ آن در اقتصاد ایران»، فصل‌نامهٔ *تحقیقات اقتصادی*، ش ۳.

ورتابیان کاشانی، هادی (۱۳۹۲)، «تحلیل منشأ نوسانات نرخ ارز طی سال‌های ۱۳۹۱– ۱۳۸۹»، فصل‌نامهٔ *سیاست‌های مالی و اقتصادی*، ش ۴.

Abuaf, N. and P. Jorion (1990), "Purchasing Power Parity in the Long Run", *The Journal of Finance*, vol. 45, no. 1.

Afolabi, M. O. and O. Olude (2007), "Predicting Stock Prices Using a Hybrid Kohonen Self Organizing Map (SOM)", in: *System Sciences*, 40th Annual Hawaii International Conference on IEEE.

Amano, R. A. and S. Van Norden (1998), "Oil Prices and the Rise and Fall of the US Real Exchange Rate", *Journal of International Money and Finance*, vol. 17, no. 2.

Brandl, B. and S. Pickl (2009), "Increasing the Fitness of Fundamental Exchange Rate Forecast Models", *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, vol. 4, no. 16.

Chen, S. H. and H. He (2004), "Searching Financial Patterns with Self-Organizing Maps", in: *Computational Intelligence in Economics and Finance*, Springer, Berlin, Heidelberg.

Deboeck, G. J. (1998),"Financial Applications of Self-Organizing Maps", *Neural Network World*, vol. 8, no. 2.

Eichenbaum, M. and C. L. Evans (1995), "Some Empirical Evidence on the Effects of Shocks to Monetary Policy on Exchange Rates", *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 110, no. 4.

Edwards, S. (1998), *Capital Flows, Real Exchange Rates, and Capital Controls: Some Latin American Experiences*, (no. w6800), National Bureau of Economic Research.

Episcopos, A. and J. Davis (2001), "Prediction Returns on Canadian Exchange Rates with Artifificial Neural Networks and EGARCH Models", *Neural Computing & Application*, vol. 4, no. 3.

Ganbold, B., I. Akram, and R. Fahrozi Lubis (2017), "Exchange Rate Volatility: A Forecasting Approach of Using the ARCH Family Along with ARIMA SARIMA and Semi-Dtructural-SVAR in Turkey", Published in: Uluslararası Ekonomi, Finans ve Ekonometri Öğrenci Sempozyumu (EFEOS), vol. 1.

www.SID.ir

Archive of SID

Gharleghi, B. and A. H. Shaari (2012), "Is Monetary Variable a Determinant in the Ringgit-dollar Exchange Rates Model: A Cointegration Approach", *Sains Malaysiana*, vol. 41 (9).

Kohenen, T. (1997), *Self-Organizing Maps*, Lecture Notes in Information Sciences.

Li, J., I. Tsiakas, and W. Wang (2015), "Predicting Exchange Rates out of Sample: Can Economic Fundamentals Beat the Random Walk", *Journal of Financial Econometrics*, vol. 13, no. 2.

McKenzie, E. D. (1984), "General Exponential Smoothing and the Equivalent ARMA Process", *Journal of Forecasting*, vol. 3.

Mitra, S. and A. Mitra (2006), "Modeling Exchange Rates Using Wavelet Decomposed Genetic Neural Networks", *Statistical Methodology*, vol. 3, no. 2.

Morales, J. L. and J. Nocedal (2011), "Remark on Algorithm 778: L-BFGS-B, Fortran Routines for Large-Scale Bound Constrained Optimization", *ACM Transactions on Mathematical Software*, vol. 38.

Negnevitsky, M. (2017), "Identification of Failing Banks Using Clustering with Self-Organising Neural Networks", *Procedia Computer Science*, vol. 108.

Saputro, D. R. S. and P. Widyaningsih (2017), "Limited Memory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (L-BFGS) Method for the Parameter Estimation on Geographically Weighted Ordinal Logistic Regression Model (GWOLR)", in: *AIP Conference Proceedings*, vol. 1868, no. 1, AIP Publishing.

Smith, J. and K. F. Wallis (2009), "A Simple Explanation of the Forecast Combination Puzzle", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 71, no. 3.

Varsta, M., J. Heikkonen, J. Lampinen, and J. D. R. Millán (2001), "Temporal Kohonen Map and the Recurrent Self-Organizing Map: Analytical and Experimental Comparison", *Neural Processing Letters*, vol. 13, no. 3.

www.SID.ir